



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0057564
(43) 공개일자 2023년05월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G02B 27/01 (2006.01) G02B 5/32 (2022.01)
G02B 6/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G02B 27/0172 (2013.01)
G02B 5/32 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0141462
(22) 출원일자 2021년10월22일
심사청구일자 2021년10월22일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)
(72) 발명자
박재형
경기도 군포시 금산로 91, 108동 1802호(산본동, 래미안 하이얼스)
최명호
인천광역시 미추홀구 토금북로27번길 19, 502호(용현동, 현진빌)
(74) 대리인
양성보

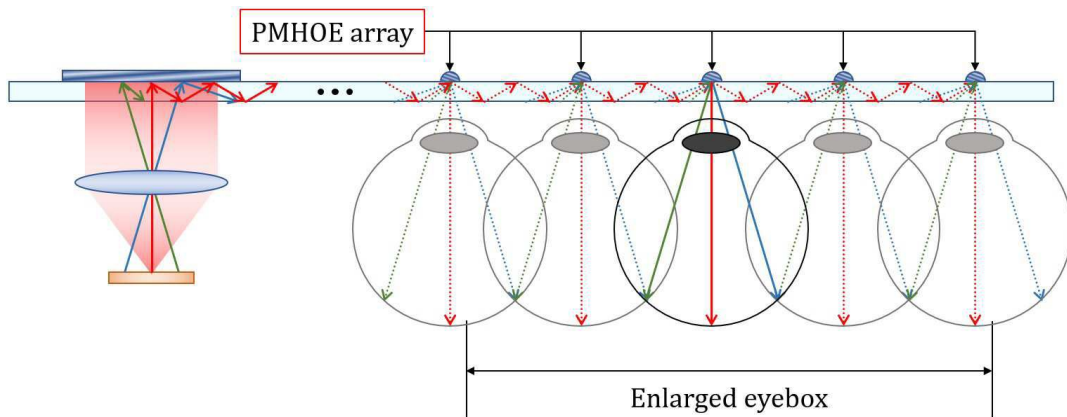
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 편미러 홀로그래픽 광학 소자 배열을 이용해 확장된 아이박스를 갖는 도파관 형태의 투과형 맥스웰리안 근안 디스플레이

(57) 요약

다양한 실시예들은 편미러 홀로그래픽 광학 소자 배열을 이용해 확장된 아이박스를 갖는 도파관 형태의 투과형 맥스웰리안 근안 디스플레이를 제공한다. 다양한 실시예들에 따르면, 도파관 형태의 투과형 맥스웰리안 근안 디스플레이는, 도파관, 및 도파관에 부착되고, 도파관 내에서 전파되는 빛을 사용자 측으로 회절시키는 편미러 홀로그래픽 광학 소자 배열을 포함한다.

대표도 - 도4



(52) CPC특허분류

G02B 6/0035 (2013.01)

G02B 2027/0174 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711129248
과제번호	2017R1A2B2011084
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	중견연구
연구과제명	[Ezbaro] 하이브리드 홀로그래픽 디스플레이 원천 기술 개발
기 여 율	1/2
과제수행기관명	인하대학교
연구기간	2021.03.01 ~ 2022.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711125977
과제번호	2020-0-00929-002
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	정보통신기획평가원
연구사업명	방송통신산업기술개발사업
연구과제명	[Ezbaro]디지털 홀로그램 윈도우 재현 기술개발(2차년도)
기 여 율	1/2
과제수행기관명	한국전자기술연구원
연구기간	2021.01.01 ~ 2021.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

도파관 형태의 투과형 맥스웰리안 근안 디스플레이에 있어서,

도파관; 및

상기 도파관에 부착되고, 상기 도파관 내에서 전파되는 빛을 사용자 측으로 회절시키는 핀미러 홀로그래픽 광학 소자 배열

을 포함하는,

도파관 형태의 투과형 맥스웰리안 근안 디스플레이.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 도파관에 부착되고, 입사되는 빛이 상기 도파관 내에서 전파되도록, 상기 입사되는 빛을 상기 도파관 내로 유도하는 인커플러 홀로그래픽 광학 소자

를 더 포함하는,

도파관 형태의 투과형 맥스웰리안 근안 디스플레이.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 핀미러 홀로그래픽 광학 소자 배열은,

상기 도파관에 각각 부착되고, 상기 도파관 상에서 서로로부터 이격되어 배열되며, 맥스웰리안 뷰 효과를 각각 실현하도록 구성되는 복수의 핀미러 홀로그래픽 광학 소자들을 포함하는,

도파관 형태의 투과형 맥스웰리안 근안 디스플레이.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 핀미러 홀로그래픽 광학 소자들은 개별 아이박스들을 각각 갖고,

상기 핀미러 홀로그래픽 광학 소자 배열은 상기 개별 아이박스들이 통합된 확장된 아이박스를 갖는,

도파관 형태의 투과형 맥스웰리안 근안 디스플레이.

청구항 5

제 3 항에 있어서,

상기 핀미러 홀로그래픽 광학 소자들의 직경은,

상기 핀미러 홀로그래픽 광학 소자들에 의해 달성되는 변조 전달 함수(modulation transfer function; MTF),

및 상이한 시선 초점 거리들에서의 상기 변조 전송 함수의 변화를 고려하여, 결정되는,
도파관 형태의 투과형 맥스웰리안 근안 디스플레이.

청구항 6

제 5 항에 있어서,
상기 핀미러 홀로그래픽 광학 소자들의 직경은,
0.5mm를 초과하고 2.0mm 미만인,
도파관 형태의 투과형 맥스웰리안 근안 디스플레이.

청구항 7

제 6 항에 있어서,
상기 핀미러 홀로그래픽 광학 소자들의 직경은,
1.0mm인,
도파관 형태의 투과형 맥스웰리안 근안 디스플레이.

청구항 8

제 3 항에 있어서,
상기 핀미러 홀로그래픽 광학 소자들 사이의 간격은,
상기 핀미러 홀로그래픽 광학 소자들의 각각의 상기 맥스웰리안 뷰 효과가 유지되도록, 결정되는,
도파관 형태의 투과형 맥스웰리안 근안 디스플레이.

청구항 9

제 8 항에 있어서,
상기 핀미러 홀로그래픽 광학 소자들 사이의 간격은,
5mm인,
도파관 형태의 투과형 맥스웰리안 근안 디스플레이.

청구항 10

제 1 항에 있어서,
상기 투과형 맥스웰리안 근안 디스플레이는,
증강현실 애플리케이션을 위해 사용되는,
도파관 형태의 투과형 맥스웰리안 근안 디스플레이.

청구항 11

제 1 항에 있어서,
 상기 인커플러 홀로그래픽 광학 소자는,
 상기 도파관 상에서 적층되는 복수의 인커플러 홀로그래픽 광학 소자들을 포함하고,
 상기 편미러 홀로그래픽 광학 소자 배열은,
 상기 도파관에 부착되고, 상기 도파관 상에서 서로로부터 이격되어 배열되는 복수의 편미러 홀로그래픽 광학 소자 그룹들을 포함하고,
 상기 복수의 편미러 홀로그래픽 광학 소자 그룹들의 각각은,
 상기 복수의 인커플러 홀로그래픽 광학 소자들에 각각 대응하고, 상기 도파관 상에서 서로로부터 이격되어 배치되는 복수의 편미러 홀로그래픽 광학 소자들을 포함하는,
 도파관 형태의 투과형 맥스웰리안 근안 디스플레이.

청구항 12

제 1 항에 있어서,
 상기 도파관은,
 나란하게 배열되는 복수의 도파관들을 포함하고,
 상기 인커플러 홀로그래픽 광학 소자는,
 상기 복수의 도파관들에 각각 부착되는 복수의 인커플러 홀로그래픽 광학 소자들을 포함하고,
 상기 편미러 홀로그래픽 광학 소자 배열은,
 상기 복수의 도파관들에 부착되고, 상기 복수의 도파관들 상에서 서로로부터 이격되어 배열되는 복수의 편미러 홀로그래픽 광학 소자 그룹들을 포함하고,
 상기 복수의 편미러 홀로그래픽 광학 소자 그룹들의 각각은,
 상기 복수의 도파관들에 각각 부착되고, 상기 복수의 인커플러 홀로그래픽 광학 소자들에 각각 대응하는 복수의 편미러 홀로그래픽 광학 소자들을 포함하는,
 도파관 형태의 투과형 맥스웰리안 근안 디스플레이.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 다양한 실시예들은 편미러 홀로그래픽 광학 소자 배열을 이용해 확장된 아이박스를 갖는 도파관 형태의 투과형 맥스웰리안 근안 디스플레이에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 가상현실(virtual reality; VR) 및 증강현실(augmented reality; AR) 애플리케이션에서 근안 디스플레이(near-eye display; NED)는 사용자에게 직관적인 시각 정보를 제공하는 주요 장치이다. VR NED와 달리 AR NED는 실제 세계에 가상 이미지를 겹치기 위해 광학적 투과(optical see-through; OST) 특성이 필요하다. 광결합기(optical combiner)는 AR NED가 OST 기능을 가지도록 하는 핵심 소자이며, 이러한 소자의 사용으로 인해 AR NED의 광학 구조는 VR NED의 광학 구조보다 더 복잡해진다.

[0003] 다양한 AR NED는 내장된 광학 결합기의 종류에 따라 분류될 수 있다. 도파관 형태의 NED(waveguide-type NED; WNED)는 얇은 도파관 및 회절 광학 소자(diffraction optical element; DOE) 또는 홀로그래픽 광학 소자(holographic optical element; HOE)로 제작된 인/아웃-커플러로 인해 컴팩트한 폼 팩터를 가질 수 있다. 이러

한 회절 격자 기반의 소재들은 각도 및 파장 선택성으로 인해 높은 광학 투명도를 가지고 있기 때문에, 다른 광 결합기보다 실제 영상을 더 잘 투과시킬 수 있다. 또한 출사동 확장(exit pupil expansion; EPE) 기법을 적용하면 AR WNED의 작은 아이박스를 확대하여 기기 사용시 사용자의 편안함을 향상시킬 수 있다. WNED는 이러한 특징을 이용하여 활발히 연구되고 상용화되었다.

[0004] 그러나, 대부분의 기존 AR WNED는 사용자의 시각적 불편의 원인인 수렴 초점 불일치(vergence-accommodation conflict; VAC) 문제를 가진다. VAC는 시준된(collimated) 디스플레이 엔진을 기반으로 하여 단일 가상 영상면을 갖는 WNED의 광학 구조에서 비롯된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 다양한 실시예들은 핀미러 홀로그래픽 광학 소자 배열을 이용해 확장된 아이박스를 갖는 도파관 형태의 투과형 맥스웰리안 근안 디스플레이를 제공한다.

과제의 해결 수단

[0006] 다양한 실시예들에 따른 도파관 형태의 투과형 맥스웰리안 근안 디스플레이는, 도파관, 및 상기 도파관에 부착되고, 상기 도파관 내에서 전파되는 빛을 사용자 측으로 회절시키는 핀미러 홀로그래픽 광학 소자 배열을 포함한다.

발명의 효과

[0007] 다양한 실시예들에 따르면, 핀미러 홀로그래픽 광학 소자 배열을 이용하여, 얇은 도파관 폼 팩터를 유지하면서 확장된 아이박스를 갖는 도파관 형태의 투과형 맥스웰리안 근안 디스플레이를 제공한다.

도면의 간단한 설명

[0008] 도 1은 홀로그래픽 광학 소자(HOE) 커플러를 사용하는 기존의 도파관 형태의 증강현실 근안 디스플레이(AR WNED)를 개략적으로 도시하는 도면이다.

도 2는 제 1 실시예들에 따른 단일 핀미러 홀로그래픽 광학 소자를 갖는 도파관 형태의 증강현실 맥스웰리안 근안 디스플레이를 개략적으로 도시하는 도면이다.

도 3은 핀미러 홀로그래픽 광학 소자들의 상이한 크기들 및 시선 초점 거리들에 따른 변조 전달 함수들을 나타내는 도면이다.

도 4는 제 1 실시예들에 따른 핀미러 홀로그래픽 광학 소자 배열을 이용해 확장된 아이박스를 갖는 도파관 형태의 증강현실 맥스웰리안 근안 디스플레이를 개략적으로 도시하는 도면이다.

도 5a 및 도 5b는 제 1 실시예들에 따른 핀미러 홀로그래픽 광학 소자 배열 제작을 위한 실험 셋업을 나타내는 개략적인 도면 및 사진이다.

도 6은 제 1 실시예들에 따른 핀미러 홀로그래픽 광학 소자 배열을 이용해 확장된 아이박스를 갖는 도파관 형태의 투과형 맥스웰리안 근안 디스플레이의 구현된 예를 나타내는 사진들이다.

도 7은 도 6을 이용하여 관찰된 실험 결과를 보여주는 이미지들이다.

도 8은 제안된 도파관 형태의 증강현실 맥스웰리안 근안 디스플레이의 제한 사항을 설명하기 위한 도면이다.

도 9는 제 2 실시예들에 따른 다중 핀미러 홀로그래픽 광학 소자 및 단일 도파관을 갖는 형태의 증강현실 맥스웰리안 근안 디스플레이를 개략적으로 도시하는 도면이다.

도 10은 제 3 실시예들에 따른 다중 핀미러 홀로그래픽 광학 소자 및 다중 도파관을 갖는 형태의 증강현실 맥스웰리안 근안 디스플레이를 개략적으로 도시하는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0009] 이하, 본 문서의 다양한 실시예들이 첨부된 도면을 참조하여 설명된다.
- [0011] 도 1은 홀로그래픽 광학 소자(HOE) 커플러를 사용하는 기존의 도파관 형태의 증강현실 근안 디스플레이(AR WNED)를 개략적으로 도시하는 도면이다.
- [0012] 도 1을 참조하면, 중심에 위치한 픽셀의 빨간색 광선 다발은 시준 렌즈(collimating lens)에 의해 시준된다. 그런 다음 수직으로 입사하는 빛을 임계 각도(critical angle)보다 큰 각도로 회절시키도록 기록된 인커플러 홀로그래픽 광학 소자(in-coupler HOE)에 의해 도파관 안으로 유도되며 유도된 광선들은 도파관 내부에서 전반사(total internal reflection; TIR)를 겪는다. 한편, 다른 픽셀로부터 발산되어 초록색과 파란색으로 표시된 광선 다발들은 인 커플러 홀로그래픽 광학 소자에 의해 다른 각도로 회절되어 도파관 내부로 유도된다. 도파관 내부에서 여러번의 내부전반사(total internal reflection; TIR)를 겪은 광선 다발들은 아웃커플러 홀로그래픽 광학 소자(out-coupler HOE)에 의해 사용자 쪽으로 회절된다. 이 구성에서 가상 이미지를 관찰하려면 수정체(eye crystalline lens)는 이완되고 무한대 평면에 초점을 맞추어야 한다. 이 때 눈이 가까운 평면에 초점을 맞추면 디포커스(defocus)로 인해 이미지가 흐려진다. 따라서 광학계의 초점 거리(accommodation distance)는 항상 광학적 무한대 평면에 고정된다. 그러나 수렴 거리(vergence distance)는 양안 시차에 의해 제어되는 3차원(3D) 가상 영상 거리에 따라 달라진다. 결과적으로 초점 거리와 수렴 거리 사이에 불일치가 존재하며 이는 도파관 형태의 근안 디스플레이(WNED)를 사용하는 동안 불편함을 야기한다.
- [0013] 최근 여러 연구에서 도파관 기반 증강현실 근안 디스플레이(AR WNED)에서 수렴 초점 불일치(VAC) 문제를 해결하기 위해 다양한 기법이 제안되었다. 한 가지 기법은 편광 의존 렌즈를 사용하여 단일 도파관으로 두개의 가상영상면을 갖는 도파관 형태의 증강현실 근안 디스플레이 기술이다. 그러나 이중 가상 영상면은 여전히 수렴 초점 불일치 문제를 완전히 해결하기에는 부족하다. 다른 기법에서는, 실제 초점 정보를 가지는 3D 가상 이미지를 보여주기 위해, 라이트 필드 또는 홀로그램 증강현실 근안 디스플레이가 제안되었다. 그러나 대부분의 3D 근안 디스플레이에는 본 문서에서 광도체라고 하는 비교적 두꺼운 도파관이 사용되어 큰 부피를 가질 뿐만 아니라 출사동 확장(EPE) 기법이 적용되지 않았기 때문에 아이박스가 제한되어 있다.
- [0014] 맥스웰리안 디스플레이 또는 망막 투사 디스플레이(retinal projection display; RPD)는 수렴 초점 불일치 문제를 완화할 수 있는 또 다른 기법이다. 편향 카메라처럼 근안 디스플레이의 유효 동공을 제한함으로써 깊은(deep) 피사계 심도(depth-of-field; DoF)를 가진 가상 이미지를 표시할 수 있다. 관찰된 이미지는 사용자 수정체의 굴절력에 관계없이 항상 초점이 맞춰져 있어 수렴 거리와 초점 거리의 불일치를 완화하는 데 도움이 된다. 이 기법은 근안 디스플레이의 사용자를 더욱 편안하게 만들지만 출사동의 제한으로 인해 아이박스 크기가 매우 작다는 한계가 있다. 이는 안구 회전 또는 장치 이탈 시 증강현실 근안 디스플레이의 몰입감 있는 경험을 방해한다. 이 작은 아이박스를 확대하기 위해, 한 연구는 편광에 의존 광학소자를 기반으로 2차원(2D) 빔 디플렉터를 제작했다. 비록 3×3개의 영상 관찰 시점을 성공적으로 달성했지만, 결합기로 부피가 큰 빔 스플리터를 사용했기 때문에 전체적인 폼 팩터는 도파관 형태의 근안 디스플레이처럼 컴팩트 하지 않았다. 다른 연구는 여러 개의 비축 오목 거울들로 작동하는 다중 홀로그래픽 광학 소자를 사용하여 아이박스를 확장한 광도체형 맥스웰리안 증강현실 근안 디스플레이를 제작했다. 이러한 광학 구조에서 발생할 수 있는 가상 이미지의 공백 또는 중복을 방지하기 위해, 또 다른 연구는 편광 의존 렌즈와 다중 홀로그래픽 광학 소자를 사용하여 동적으로 전환 가능한 아이박스 확장 기술을 제안했다. 또한 또 다른 연구는 여러개의 독립적인 홀로그래픽 광학 소자를 사용하여 아이박스가 확장된 광도체형 AR 맥스웰리안 근안 디스플레이 기술을 제안했다. 그러나 나열된 연구들에서 광도체의 두께는 출사동 확장 기술을 사용하는 일반적인 도파관 두께보다 크다. 출사동 확장 기술을 사용하는 일반적인 도파관 구성과 달리, 나열된 연구들에서는 모든 픽셀에서 발생하는 주요 광선들이 광도체에서 동일한 내부전반사 각도를 가지며 아웃커플러에 도달할 때 공간적 위치로만 구별된다. 특정 위치에서 공간적으로 다른 정보가 겹칠 정도로 광도체가 얇은 경우 고스트 이미지 또는 이미지 복제 문제가 발생할 수 있다. 따라서 나열된 연구들에서 얇은 도파관을 사용할 수 없었고 출사동 확장 기법을 적용할 수 없었다.
- [0016] 다양한 실시예들은 얇은 도파관 폼 팩터를 유지하며 아이박스가 확장된 증강현실용 맥스웰리안 근안 디스플레이를 제안한다. 제안된 시스템의 핵심 요소는 핀미러 홀로그래픽 광학 소자(pin-mirror holographic optical element; PMHOE) 배열로 제작된 아웃커플러이다. 각각의 크기가 작은 핀미러 홀로그래픽 광학 소자는 시스템의 유효 구경을 감소시켜 깊은 피사계 심도를 갖는 가상 영상을 제공한다. 이러한 핀미러 홀로그래픽 광학 소자를

2D로 배열하여 아이박스를 확장하면, 사용자의 편안함과 눈 위치의 허용 오차를 향상시킨다.

- [0017] 작은 미러 홀로그래픽 광학 소자가 한 연구에 의해 보고되었다. 그들은 홀로그래픽 프린터로 인쇄된 자유 형태 미러 배열 홀로그래픽 광학 소자를 이용한 반사형 증강현실 근안 디스플레이를 도입했다. 확장된 아이박스내에서 맥스웰리안 뷰 효과를 성공적으로 입증했지만, 시스템은 도파관 형태가 아닌 자유 공간 투사 형태를 가지고 있다. 홀로그래픽 광학 소자 평면에 이미지를 투사하려면 상대적으로 큰 부피가 필요하며 출사동 확장 기법을 적용할 수 없다. 편미러 배열을 갖춘 증강현실 근안 디스플레이도 한 기업에 의해 보고되었다. 편미러 어레이를 사용하여 맥스웰리안 디스플레이 모듈을 개발했지만, 광도체는 상대적으로 두꺼울 뿐만 아니라 편미러 내장 광도체는 제작하기가 쉽지 않다.
- [0018] 대조적으로, 제안된 시스템은 도파관 구성에 기반하여 얇은(구현 시 약 1mm) 폼 팩터와 복제된 아이박스를 달성한다. 편미러 홀로그래픽 광학 소자 배열은 간단히 기록하고 도파관에 부착할 수 있기 때문에, 제안된 시스템은 제작에서 유리하다.
- [0019] 도 2는 제 1 실시예들에 따른 단일 편미러 홀로그래픽 광학 소자를 갖는 도파관 형태의 증강현실 맥스웰리안 근안 디스플레이를 개략적으로 도시하는 도면이다.
- [0020] 도 2를 참조하면, 도파관 형태의 증강현실 맥스웰리안 근안 디스플레이는 도파관, 도파관에 부착되고, 디스플레이로부터 입사되는 빛이 도파관 내에서 전파되도록, 입사되는 빛을 도파관 내로 유도하는 인커플러 홀로그래픽 광학 소자, 및 도파관에 부착되고, 도파관 내에서 전파되는 빛을 사용자 측으로 회절시키는 편미러 홀로그래픽 광학 소자를 포함한다. 도 1에 도시된 기존의 아웃커플러 홀로그래픽 광학 소자와 달리, 편미러 홀로그래픽 광학 소자는 각 픽셀에서 발산 및 시준되고 도파관 내에서 전파되는 빛의 빔 웨이스트(beam waist)를 제한하여 사용자에게 전달한다. 편미러 홀로그래픽 광학 소자에 의해 유효 출사동이 제한되기 때문에, 망막면에서 디포커스되는 양이 감소하여 깊은 피사계 심도를 갖는 가상 영상을 제공한다. 결과적으로, 가상 이미지의 맥스웰리안 뷰 효과가 편미러 홀로그래픽 광학 소자에 의해 실현된다.
- [0021] 편미러 홀로그래픽 광학 소자의 크기는 제안된 시스템의 중요한 설계 요소이다. 적절한 크기를 파악하기 위해 간단한 시뮬레이션을 수행하고 제안된 광학 장치의 변조 전달 함수(modulation transfer function; MTF)를 추정했다. 편미러 홀로그래픽 광학 소자와 아이 렌즈는 각각 이상적인 조리개와 렌즈로 가정되었다. 근안 디스플레이가 만드는 가상 이미지는 무한대 평면에 존재한다고 가정하였다. 도 3은 편미러 홀로그래픽 광학 소자들의 서로 다른 크기들 및 눈이 초점을 맞춘 위치들에 따른 변조 전달 함수들을 나타내는 도면이다.
- [0022] 도 3을 참조하면, 편미러 홀로그래픽 광학 소자 및 사용자 눈의 변조 전달 함수는 편미러 홀로그래픽 광학 소자의 직경과 수정체의 초점 거리에 따라 분석될 수 있다. 눈이 무한대에 초점을 맞출 때, 큰 직경의 편미러 홀로그래픽 광학 소자(파란색 라인, 2.0mm 직경)는 고주파에 대해 높은 변조 깊이(modulation depth; MD)를 갖는 것이 분명하다. 이는, 광학계가 큰 조리개를 가질수록 좋은 해상력(resolving power)을 제공할 수 있기 때문이다. 그러나 눈이 상대적으로 가까운 40cm 평면에 초점을 맞추면, 각주파수가 증가함에 따라 변조 깊이가 급격히 감소한다. 이것은 이 시스템이 얇은 피사계 심도를 가지고 있고 맥스웰리안 뷰가 실현될 수 없다는 것을 의미한다. 작은 직경의 편미러 홀로그래픽 광학 소자(빨간색 라인, 직경 0.5mm)는 깊은 피사계 심도가 달성되어 서로 다른 시선 초점 거리에 대해 무시할 수 있는 변조 전달 함수 변화를 제공한다. 그러나 매우 작은 구멍으로부터의 회절 때문에 컷오프 주파수 위의 고주파 부분은 표현될 수 없고 변조 전달 함수는 일반적으로 더 나쁘다. 중간 직경의 편미러 홀로그래픽 광학 소자(녹색 라인, 직경 1.0mm)의 경우 눈의 초점 파위에 관계없이 작은 직경의 편미러 홀로그래픽 광학 소자와 비슷하거나 더 나은 변조 전달 함수를 가진다. 중간 직경의 편미러 홀로그래픽 광학 소자의 가장 좋은 변조 전달 함수는 큰 직경의 편미러 홀로그래픽 광학 소자의 것보다 작지만, 변조 전달 함수는 가장 큰 디포커스(0.4m 위치에 눈이 초점을 맞춤)에서도 10cpd에서 0.5 MD의 합리적인 값을 유지한다. 따라서, 제안된 시스템에서는 중간 직경, 예컨대 1 mm의 편미러 홀로그래픽 광학 소자를 선택한다.
- [0023] 제안된 시스템의 단일 편미러 홀로그래픽 광학 소자는 깊은 피사계 심도를 갖는 가상 이미지를 표시한다. 그러나 아이박스는 편미러 홀로그래픽 광학 소자의 횡축 주위의 위치로 제한된다. 전체적인 아이박스를 확장시키기 위해서, 제안된 시스템은 편미러 홀로그래픽 광학 소자 배열을 사용한다. 도 4는 제 1 실시예들에 따른 편미러 홀로그래픽 광학 소자 배열을 이용해 확장된 아이박스를 갖는 도파관 형태의 증강현실 맥스웰리안 근안 디스플레이를 개략적으로 도시하는 도면이다.
- [0024] 도 4를 참조하면, 도파관 형태의 증강현실 맥스웰리안 근안 디스플레이는 도파관, 도파관에 부착되고, 입사되는 빛이 도파관 내에서 전파되도록, 입사되는 빛을 도파관 내로 유도하는 인커플러 홀로그래픽 광학 소자, 및 도파

관에 부착되고, 도파관 내에서 전파되는 빛을 사용자 측으로 회절시키는 편미러 홀로그래픽 광학 소자 배열을 포함한다. 편미러 홀로그래픽 광학 소자 배열은, 도파관에 각각 부착되고, 도파관 상에서 서로로부터 이격되어 배열되며, 맥스웰리안 뷰 효과를 각각 실현하도록 구성되는 복수의 편미러 홀로그래픽 광학 소자들을 포함한다. 첫 번째 편미러 홀로그래픽 광학 소자에 의해 광선 다발이 회절된 후, 나머지는 내부전반사(TIR)에 의해 도파관에서 전파되고 다른 편미러 홀로그래픽 광학 소자들에 의해 다시 눈으로 회절된다. 따라서 편미러 홀로그래픽 광학 소자 배열은 개별 아이박스를 복제하여 눈이 위치할 수 있는 전체 영역을 증가시킨다. 제안된 시스템에 사용된 아이박스 복제는 기존의 출사동 확장 기법과 달리 맥스웰리안 뷰 효과를 유지하면서 전체적인 아이박스 영역만 증가시킨다는 점에 유의한다. 또한 도 4에서는 단순성을 위해 1D 배열을 설명하였지만, 2D 복제가 편미러 홀로그래픽 광학 소자의 2D 배열을 사용함으로써 쉽게 수행된다는 점에 유의한다. 제안된 시스템의 또 다른 장점은 2D 복제에 기존의 2D 사출 동공 전개 기법처럼 추가적인 폴딩(folding) 홀로그래픽 광학 소자가 필요하지 않다는 것이다. 그러나 두 개 이상의 편미러 홀로그래픽 광학 소자들에서 나온 광선 다발이 동시에 눈에 들어오는 경우 맥스웰리안 뷰 효과는 저하될 수 있다. 제안된 시스템에서, 이웃하는 편미러 홀로그래픽 광학 소자들 사이의 간격은 밝은 상태일 때의 평균 동공 크기보다 더 큰 약 5mm로 설계되었다.

[0025] 도 5a 및 도 5b는 제 1 실시예들에 따른 편미러 홀로그래픽 광학 소자 배열 제작을 위한 실험 셋업을 나타내는 개략적인 도면 및 사진이다.

[0026] 도 5a 및 도 5b를 참조하면, Littrow 프리즘(Edmund Optics, S/N 43-649)에 포토폴리머 필름(Litiholo, C-RT20)을 부착한 후, 3D 프린터로 제작한 편홀 배열 마스크를 포토폴리머 필름 앞에 배치하였다. 홀로그래픽 광학 소자의 기록에 사용된 레이저의 파장은 660nm(Cobolt, Flamenco 500mW)였다. 포토폴리머 필름에 두 빛을 간섭시키고 자외선을 이용한 경화작업 후 기록된 아웃커플러를 분리하여 1mm 두께의 도파관에 부착하였다. 두 커플러의 대칭성 덕분에, 인커플러의 기록 과정은 편홀 배열 마스크를 제거한 동일한 셋업에서 수행되었다.

[0027] 도 6은 제 1 실시예들에 따른 편미러 홀로그래픽 광학 소자 배열을 이용해 확장된 아이박스를 갖는 도파관 형태의 투과형 맥스웰리안 근안 디스플레이의 구현된 예를 나타내는 사진들이다. 도 6에서, (a)는 편미러 홀로그래픽 광학 소자 배열을 이용해 확장된 아이박스를 갖는 도파관 형태의 투과형 맥스웰리안 근안 디스플레이를 보여주고, (b)는 (a)의 편미러 홀로그래픽 광학 소자 배열을 확대하여 보여주고, (c)는 (a)를 이용하여 구현된 증강현실을 관찰하기 위한 실험 셋업을 보여준다.

[0028] 도 6의 (a)를 참조하면, 편미러 홀로그래픽 광학 소자 배열을 이용해 확장된 아이박스를 갖는 도파관 형태의 투과형 맥스웰리안 근안 디스플레이가 구현된다. 전체 크기는 약 25mm×75mm이며, 두께는 1.1mm로 측정되었다. 도 6의 (b)에 도시된 바와 같이, 편미러 홀로그래픽 광학 소자 배열은 복수의 편미러 홀로그래픽 광학 소자들을 갖는다. 도 6의 (b)에서, 9개의 편미러 홀로그래픽 광학 소자들만 기록되었지만, 기록시 사용한 편홀 배열 마스크에 따라 더 많은 편미러 홀로그래픽 광학 소자들이 기록될 수 있다. 이러한 도파관 형태의 투과형 맥스웰리안 근안 디스플레이를 이용하여, 증강현실 가상 이미지를 관찰하기 위해, 도 6의 (c)와 같이 실험 셋업이 수행되었다. 디지털 라이트 프로세싱(digital light processing; DLP) 프로젝터(Qumi, Q38)가 디스플레이로 사용된다. 프로젝터의 각 픽셀이 만드는 평행광의 직경을 확대하기 위해 초점 거리가 다른 렌즈를 사용하는 4-f 릴레이 시스템을 사용했다. 아이박스 영역의 스마트폰 카메라는 구현된 시스템의 실험 결과를 캡처하는 데 사용되었다.

[0029] 도 7은 도 6을 이용하여 관찰된 실험 결과를 보여주는 이미지들이다. 도 7에서, (a)는 카메라 초점 평면이 카메라로부터 무한대에 있는 경우를 나타내고, (b)는 카메라 초점 평면이 카메라로부터 약 40cm에 있는 경우를 나타낸다. 편미러 홀로그래픽 광학 소자 배열이 각 사진의 왼쪽 상단에 묘사되어 있으며, 각 사진에서 카메라의 위치는 빨간색으로 채워진 원으로 표시되어 있다.

[0030] 도 7을 참조하면, 아이박스 확장을 확인하기 위해 카메라를 모든 편미러 홀로그래픽 광학 소자에 위치시켜 결과 이미지를 촬영했다. 제안된 기술은 무한대의 가상 이미지 평면을 갖도록 설계되었기 때문에, 카메라가 원거리 평면에 초점을 맞추고 있는 도 7의 (a)에서 명확한 가상 우주비행사를 볼 수 있다. 카메라에서 약 40cm 평면에 초점을 맞춰 결과영상을 촬영해도, 편미러 홀로그래픽 광학 소자에 의한 맥스웰리안 뷰 효과 덕분에 도 7의 (b)와 같이 선명한 가상 이미지를 관찰할 수 있다. 도 7의 오른쪽에는 제안된 방법과의 비교를 위해 기존의 도파관 형태의 근안 디스플레이의 실험 결과도 나와 있다. 도 7의 (b)의 비교를 통해 기존의 도파관 형태의 근안 디스플레이의 디포커스 흐림(blur)이 제안된 시스템에서는 증가된 피사계 심도에 의해 제거된다는 것을 확인할 수 있다. 결과적으로, 각 편미러 홀로그래픽 광학 소자 위치에서 서로 다른 깊이에 카메라 초점을 맞추어도 선명한 가상 영상을 관찰할 수 있었으며, 이는 제안된 도파관 형태의 증강현실 근안 디스플레이의 수렴 초점 불일치 완화 및 아이박스 복제를 성공적으로 보여준다.

- [0031] 도 8은 제안된 도파관 형태의 증강현실 맥스웰리안 근안 디스플레이의 제한 사항을 설명하기 위한 도면이다.
- [0032] 전술한 바와 같이, 제안된 도파관 형태의 증강현실 맥스웰리안 근안 디스플레이의 기본 개념을 실험적으로 검증했지만, 여전히 개선해야 할 점이 많다. 첫 번째 제한 사항은, 가상 영상면이 여전히 무한대 평면에 있다는 것이다. 이 평면이 사람 눈의 과초점 거리에 위치할 경우 제안된 광학 시스템의 변조 전달 함수의 성능이 향상될 수 있다. 기록 과정에서 오목 렌즈를 사용하여 핀미러 홀로그래픽 광학 소자가 약간의 음의 굴절력을 갖도록 함으로써 가상 영상면을 사람 눈의 과초점 거리에 위치시킬 수 있을 것이다. 두 번째 제한 사항은, 각 핀미러 홀로그래픽 광학 소자의 FoV가 도파관의 임계각도와 홀로그래픽 광학 소자의 각도 허용오차에 의해 제한된다는 것이다. 도 8의 (a)는 인커플러 홀로그래픽 광학 소자의 k -벡터 다이어그램을 나타낸다. 다이어그램에서, 격자 벡터 K 는 물체빔의 k -벡터 k_0 를 기준빔의 k -벡터 k_r 에서 빼서 결정된다. 본 발명의 홀로그래픽 광학 소자의 제작 과정에서 k_r 은 z 성분만 가지고 있으며, k_0 는 z 축으로 $\theta_0 = 60^\circ$ 의 회절각을 가지고 있다. 입사 프로브 빔에 대해 θ_1 , θ_2 와 같은 각도 편차가 있는 경우, 회절빔의 k -벡터도 k -벡터 다이어그램으로 계산할 수 있는 k_1 및 k_2 로 변경된다. 공기중에서의 각도 편차에 따른 도파관에서 계산된 회절각이 도 8의 (b)에 표시되어 있다(파란색 실선). 도파관 내부에서 빛이 전반사 하기 위해서는, 공기중에서의 각도 편차가 θ_1 와 θ_2 사이에 있어야 하며, 이는 임계각 θ_c (파란색 점선)보다 크고 90도보다 작은 회절각의 범위이다. 도 8의 (b)와 같이 입사광의 사용 가능한 각도 범위는 공기 중 28.88도로 계산된다. 그러나 홀로그래픽 광학 소자가 엄격한 각도 선택성을 가지기 때문에 가상 영상의 FoV는 홀로그래픽 광학 소자의 각도 허용오차에도 영향을 받는다. 결합파 이론(CWT)에 기초하여 인-아웃커플러를 고려한 정규화된 회절효율(diffraction efficiency; DE)은 도 8의 (b)과 같다(주황색 실선). 정규화된 회절효율의 최대 절반(full-width at half-maximum; FWHM)에서의 전체 폭은 5.36도로, 제안된 도파관 형태의 근안 디스플레이의 FoV를 제한한다. 그러나 실험 결과 가상 이미지의 실제 FoV는 회절효율이 작기 때문에 낮은 밝기 부분을 포함하여 9.29도로 측정되었다. 이 값은 몰입감 있는 증강현실 경험에는 불충분하므로 FoV 향상 기술을 시스템에 적용해야 한다. 다중 도파관 사용은 한 가지 접근 방식이 될 수 있다. FoV의 여러 부분을 담당하는 도파관을 여러 개 제작하여 전체 FoV를 개선할 수 있다. 또는 홀로그래픽 광학 소자 다중화 기법을 사용하여 각 홀로그래픽 광학 소자가 마이크로 디스플레이의 일부 영역을 담당하도록 기록하여 단일 도파관과 함께 사용할 수도 있다.
- [0033] 도 9는 제 2 실시예들에 따른 다중 핀미러 홀로그래픽 광학 소자를 갖는 도파관 형태의 증강현실 맥스웰리안 근안 디스플레이를 개략적으로 도시하는 도면이다.
- [0034] 도 9를 참조하면, 도파관 형태의 증강현실 맥스웰리안 근안 디스플레이는 도파관, 도파관에 부착되고, 입사되는 빛이 도파관 내에서 전파되도록, 입사되는 빛을 도파관 내로 유도하는 인커플러 홀로그래픽 광학 소자, 및 도파관에 부착되고, 도파관 내에서 전파되는 빛을 사용자 측으로 회절시키는 핀미러 홀로그래픽 광학 소자 배열을 포함한다. 인커플러 홀로그래픽 광학 소자는 도파관 상에서 적용되는 복수의 인커플러 홀로그래픽 광학 소자들을, 예컨대 제 1 인커플러 홀로그래픽 광학 소자 및 제 2 인커플러 홀로그래픽 광학 소자를 포함한다. 핀미러 홀로그래픽 광학 소자 배열은, 도파관에 각각 부착되고, 도파관 상에서 서로로부터 이격되어 배열되며, 맥스웰리안 뷰 효과를 각각 실현하도록 구성되는 복수의 핀미러 홀로그래픽 광학 소자 그룹들을 포함한다. 핀미러 홀로그래픽 광학 소자 그룹들의 각각은 복수의 인커플러 홀로그래픽 광학 소자들로부터 회절되어 도파관 내에서 도파하는 빛을 사용자 안구 방향으로 회절시키는 복수의 핀미러 홀로그래픽 광학 소자들, 예컨대 제 1 핀미러 홀로그래픽 광학 소자 및 제 2 핀미러 홀로그래픽 광학 소자를 포함한다.
- [0035] 예를 들면, 제 1 인커플러 홀로그래픽 광학 소자 및 제 2 인커플러 홀로그래픽 광학 소자는 $k_{i1,r}/k_{i2,r}$ 을 참조(reference)빔으로 하고, $k_{i1,o}/k_{i2,o}$ 을 물체(object)빔으로 하여 격자 벡터(grating vector) K_{i1}/K_{i2} 를 갖는다. 제 1 인커플러 홀로그래픽 광학 소자 및 제 2 인커플러 홀로그래픽 광학 소자는 1개의 기록 매질 (photopolymer 또는 silver halide)에 동시에 기록될 수도 있고, 이미 기록된 여러 개의 홀로그래픽 광학 소자들을 물리적으로 적층하여 구현될 수도 있다. 제 1 인커플러 홀로그래픽 광학 소자는 홀로그래픽 광학 소자(volume grating)의 각도 선택성(angular selectivity)에 의해 마이크로디스플레이(microdisplay)의 오른쪽 영역에서 나오는 빛을 도파관 내부에서 작은 각도, 예컨대 45도로 도파하도록 한다. 제 2 인커플러 홀로그래픽 광학 소자는 마이크로디스플레이의 왼쪽 영역에서 나오는 빛을 도파관 내부에서 큰 각도, 예컨대 60도로 도

파하도록 한다. 제 1 편미러 홀로그래픽 광학 소자 및 제 2 편미러 홀로그래픽 광학 소자는 $k_{o1,r}/k_{o2,r}$ 을 레퍼런스로 하고, $k_{o1,o}/k_{o2,o}$ 을 오브젝트로 하여 격자 벡터 K_{o1}/K_{o2} 를 갖는다. 이때, 제 1 편미러 홀로그래픽 광학 소자 및 제 2 편미러 홀로그래픽 광학 소자는 서로로부터 이격되어, 공간적으로 다른 위치에 존재해야 한다.

[0036] 결론적으로 각 편미러 홀로그래픽 광학 소자 그룹은 마이크로디스플레이의 일부 영역을 커버(cover)하도록 기록되며 눈에 영상을 제공한다. n개의 편미러 홀로그래픽 광학 소자 그룹들을 사용할 경우 FoV는 n배로 확대 가능할 것이다.

[0037] 도 10은 제 3 실시예들에 따른 다중 편미러 홀로그래픽 광학 소자 및 다중 도파관을 갖는 형태의 증강현실 맥스웰리안 근안 디스플레이를 개략적으로 도시하는 도면이다.

[0038] 도 10을 참조하면, 도파관 형태의 증강현실 맥스웰리안 근안 디스플레이는 복수의 도파관들, 도파관들에 부착되고, 입사되는 빛이 도파관들 내에서 전파되도록, 입사되는 빛을 도파관들 내로 유도하는 인커플러 홀로그래픽 광학 소자, 및 도파관들에 부착되고, 도파관들 내에서 전파되는 빛을 사용자 측으로 회절시키는 편미러 홀로그래픽 광학 소자 배열을 포함한다. 인커플러 홀로그래픽 광학 소자는 도파관들에 각각 부착되는 복수의 인커플러 홀로그래픽 광학 소자들을 포함한다. 편미러 홀로그래픽 광학 소자 배열은, 도파관들에 부착되고, 도파관들 상에서 서로로부터 이격되어 배열되며, 맥스웰리안 뷰 효과를 각각 실현하도록 구성되는 복수의 편미러 홀로그래픽 광학 소자 그룹들을 포함한다. 편미러 홀로그래픽 광학 소자 그룹들의 각각은 도파관들에 각각 부착되는 복수의 편미러 홀로그래픽 광학 소자들을 포함한다.

[0039] 예를 들면, 복수의 인커플러 홀로그래픽 광학 소자들은 $k_{i1,r}/k_{i2,r}/k_{i3,r}$ 을 참조빔으로 하고, $k_{i,o}$ 을 물체 빔으로 하여 격자 벡터 $K_{i1}/K_{i2}/K_{i3}$ 를 갖는다. 복수의 인커플러 홀로그래픽 광학 소자들은 홀로그래픽 광학 소자(volume grating)의 각도 선택성에 의해 마이크로디스플레이의 해당 영역들(도 10에서, 오른쪽/가운데/왼쪽)에서 나오는 빛을 도파관들의 각각의 내부에서 같은 각도로 도파하도록 한다. 복수의 편미러 홀로그래픽 광학 소자들은 $k_{o,r}$ 을 레퍼런스로 하고, $k_{o1,o}/k_{o2,o}/k_{o3,o}$ 을 오브젝트로 하여 격자 벡터 $K_{o1}/K_{o2}/K_{o3}$ 를 갖는다.

[0040] 결론적으로 각 편미러 홀로그래픽 광학 소자 그룹은 도파관들과 함께 마이크로디스플레이의 일부 영역을 커버하도록 기록되며 눈에 영상을 제공한다. n개의 편미러 홀로그래픽 광학 소자 그룹들 및 n개 도파관들을 사용할 경우 FoV는 n배로 확대 가능할 것이다.

[0042] 진술된 바와 같이, 다양한 실시예들은 편미러 홀로그래픽 광학 소자 배열을 이용해 확장된 아이박스를 갖는 도파관 형태의 투과형 맥스웰리안 근안 디스플레이를 제공한다.

[0043] 다양한 실시예들에 따른 도파관 형태의 투과형 맥스웰리안 근안 디스플레이는, 도파관, 및 도파관에 부착되고, 도파관 내에서 전파되는 빛을 사용자 측으로 회절시키는 편미러 홀로그래픽 광학 소자 배열을 포함한다.

[0044] 다양한 실시예들에 따르면, 투과형 맥스웰리안 근안 디스플레이는, 도파관에 부착되고, 입사되는 빛이 도파관 내에서 전파되도록, 입사되는 빛을 도파관 내로 유도하는 인커플러 홀로그래픽 광학 소자를 더 포함한다.

[0045] 다양한 실시예들에 따르면, 편미러 홀로그래픽 광학 소자 배열은, 도파관에 각각 부착되고, 도파관 상에서 서로로부터 이격되어 배열되며, 맥스웰리안 뷰 효과를 각각 실현하도록 구성되는 복수의 편미러 홀로그래픽 광학 소자들을 포함한다.

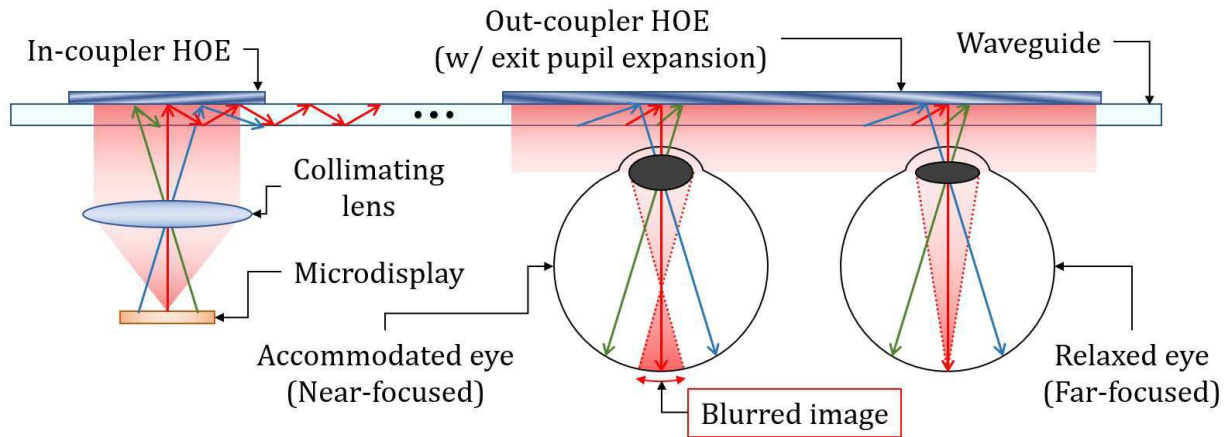
[0046] 다양한 실시예들에 따르면, 편미러 홀로그래픽 광학 소자들은 개별 아이박스들을 각각 갖고, 편미러 홀로그래픽 광학 소자 배열은 개별 아이박스들이 통합된 확장된 아이박스를 갖는다.

[0047] 다양한 실시예들에 따르면, 편미러 홀로그래픽 광학 소자들의 직경은, 편미러 홀로그래픽 광학 소자들에 의해 달성되는 변조 전달 함수(modulation transfer function; MTF), 및 상이한 시선 초점 거리들에서의 변조 전달 함수의 변화를 고려하여, 결정된다.

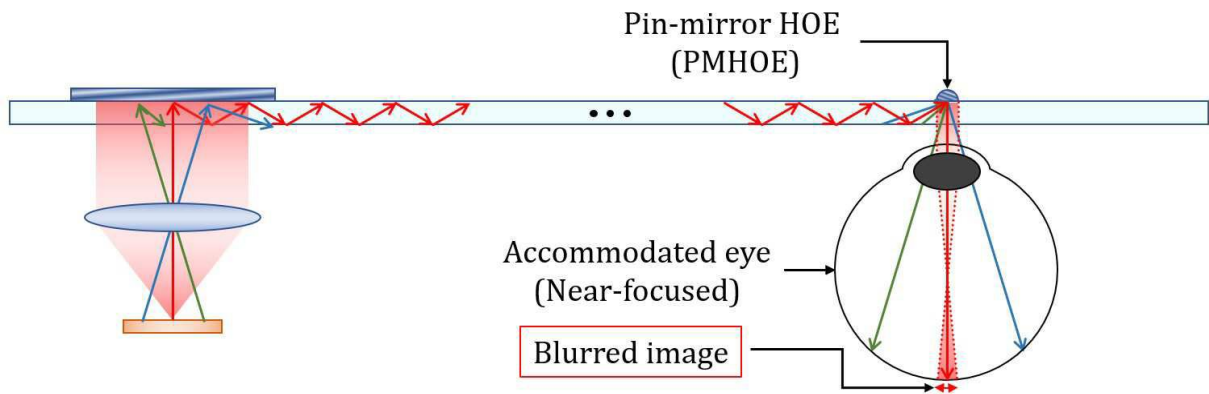
- [0048] 다양한 실시예들에 따르면, 핀미러 홀로그래픽 광학 소자들의 직경은, 0.5mm를 초과하고 2.0mm 미만이다.
- [0049] 일 실시예에 따르면, 핀미러 홀로그래픽 광학 소자들의 직경은, 1.0mm이다.
- [0050] 다양한 실시예들에 따르면, 핀미러 홀로그래픽 광학 소자들 사이의 간격은, 핀미러 홀로그래픽 광학 소자들의 각각의 맥스웰리안 뷰 효과가 유지되도록, 결정된다.
- [0051] 다양한 실시예들에 따르면, 핀미러 홀로그래픽 광학 소자들 사이의 간격은, 5mm이다.
- [0052] 다양한 실시예들에 따르면, 투과형 맥스웰리안 근안 디스플레이는, 증강현실 애플리케이션을 위해 사용된다.
- [0053] 일 실시예에 따르면, 인커플러 홀로그래픽 광학 소자는, 도파관 상에서 적층되는 복수의 인커플러 홀로그래픽 광학 소자들을 포함하고, 핀미러 홀로그래픽 광학 소자 배열은, 도파관에 부착되고, 도파관 상에서 서로로부터 이격되어 배열되는 복수의 핀미러 홀로그래픽 광학 소자 그룹들을 포함하고, 복수의 핀미러 홀로그래픽 광학 소자 그룹들의 각각은, 복수의 인커플러 홀로그래픽 광학 소자들에 각각 대응하고, 도파관 상에서 서로로부터 이격되어 배치되는 복수의 핀미러 홀로그래픽 광학 소자들을 포함한다.
- [0054] 다른 실시예에 따르면, 도파관은, 나란하게 배열되는 복수의 도파관들을 포함하고, 인커플러 홀로그래픽 광학 소자는, 복수의 도파관들에 각각 부착되는 복수의 인커플러 홀로그래픽 광학 소자들을 포함하고, 핀미러 홀로그래픽 광학 소자 배열은, 복수의 도파관들에 부착되고, 복수의 도파관들 상에서 서로로부터 이격되어 배열되는 복수의 핀미러 홀로그래픽 광학 소자 그룹들을 포함하고, 복수의 핀미러 홀로그래픽 광학 소자 그룹들의 각각은, 복수의 도파관들에 각각 부착되고, 복수의 인커플러 홀로그래픽 광학 소자들에 각각 대응하는 복수의 핀미러 홀로그래픽 광학 소자들을 포함한다.
- [0056] 본 문서의 다양한 실시예들 및 이에 사용된 용어들은 본 문서에 기재된 기술을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 해당 실시 예의 다양한 변경, 균등물, 및/또는 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 도면의 설명과 관련하여, 유사한 구성 요소에 대해서는 유사한 참조 부호가 사용될 수 있다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함할 수 있다. 본 문서에서, "A 또는 B", "A 및/또는 B 중 적어도 하나", "A, B 또는 C" 또는 "A, B 및/또는 C 중 적어도 하나" 등의 표현은 함께 나열된 항목들의 모든 가능한 조합을 포함할 수 있다. "제 1", "제 2", "첫째" 또는 "둘째" 등의 표현들은 해당 구성 요소들을, 순서 또는 중요도에 상관없이 수식할 수 있고, 한 구성 요소를 다른 구성 요소와 구분하기 위해 사용될 뿐 해당 구성 요소들을 한정하지 않는다. 어떤(예: 제 1) 구성 요소가 다른(예: 제 2) 구성 요소에 "(기능적으로 또는 통신적으로) 연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 상기 어떤 구성 요소가 상기 다른 구성 요소에 직접적으로 연결되거나, 다른 구성 요소(예: 제 3 구성 요소)를 통하여 연결될 수 있다.
- [0057] 다양한 실시예들에 따르면, 기술한 구성 요소들의 각각의 구성 요소는 단수 또는 복수의 개체를 포함할 수 있다. 다양한 실시예들에 따르면, 기술한 해당 구성 요소들 중 하나 이상의 구성 요소들 또는 단계들이 생략되거나, 또는 하나 이상의 다른 구성 요소들 또는 단계들이 추가될 수 있다. 대체적으로 또는 추가적으로, 복수의 구성 요소들은 하나의 구성 요소로 통합될 수 있다. 이런 경우, 통합된 구성 요소는 복수의 구성 요소들 각각의 구성 요소의 하나 이상의 기능들을 통합 이전에 복수의 구성 요소들 중 해당 구성 요소에 의해 수행되는 것과 동일 또는 유사하게 수행할 수 있다.

도면

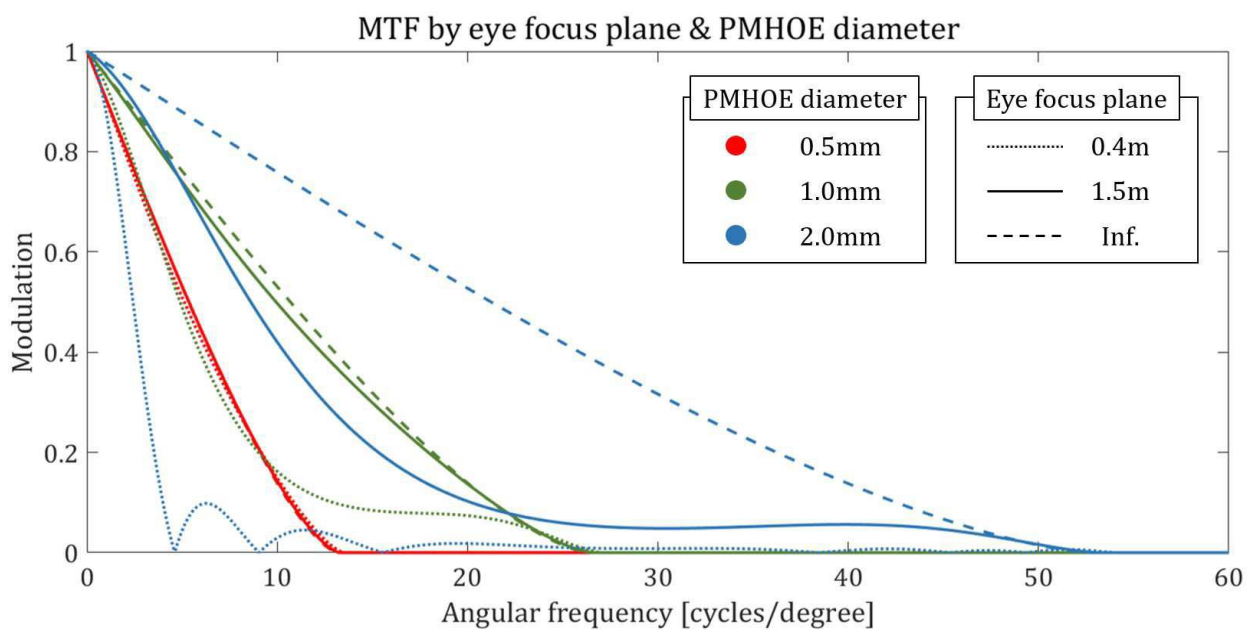
도면1



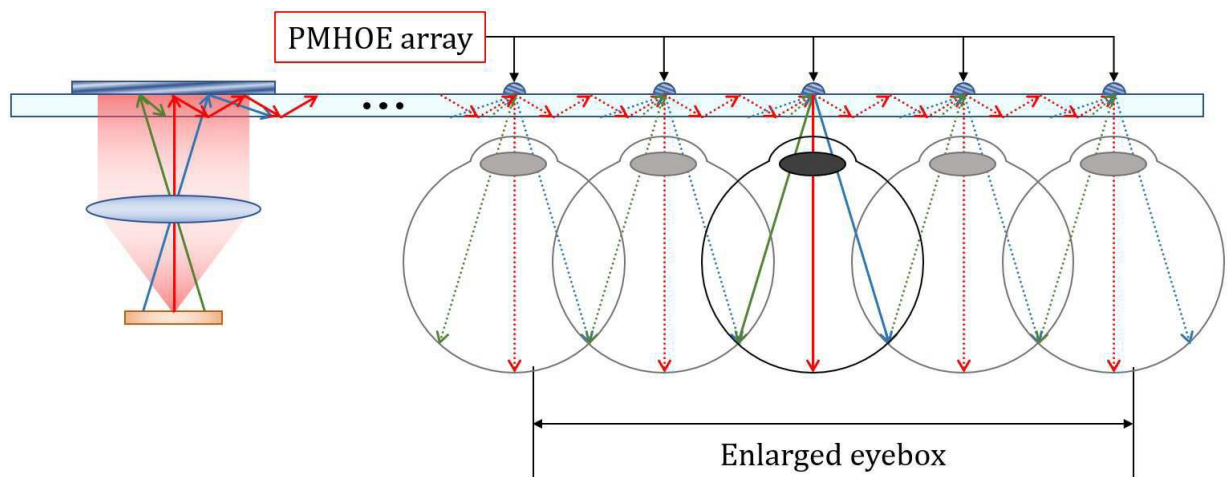
도면2



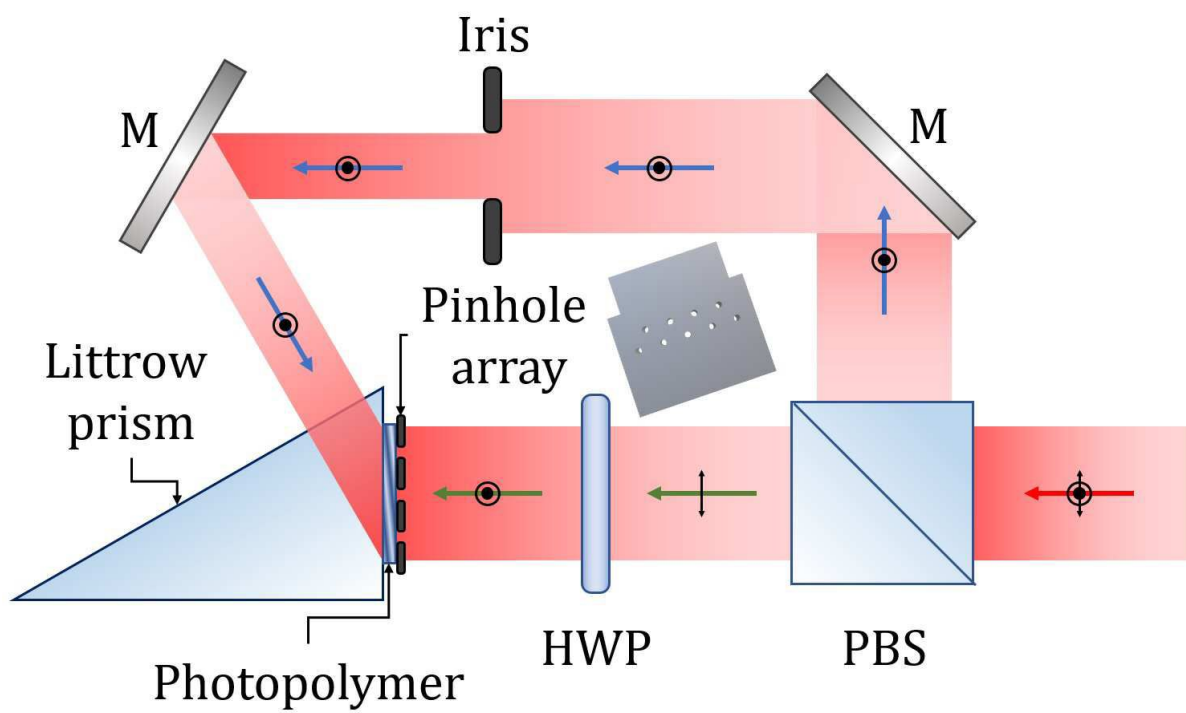
도면3



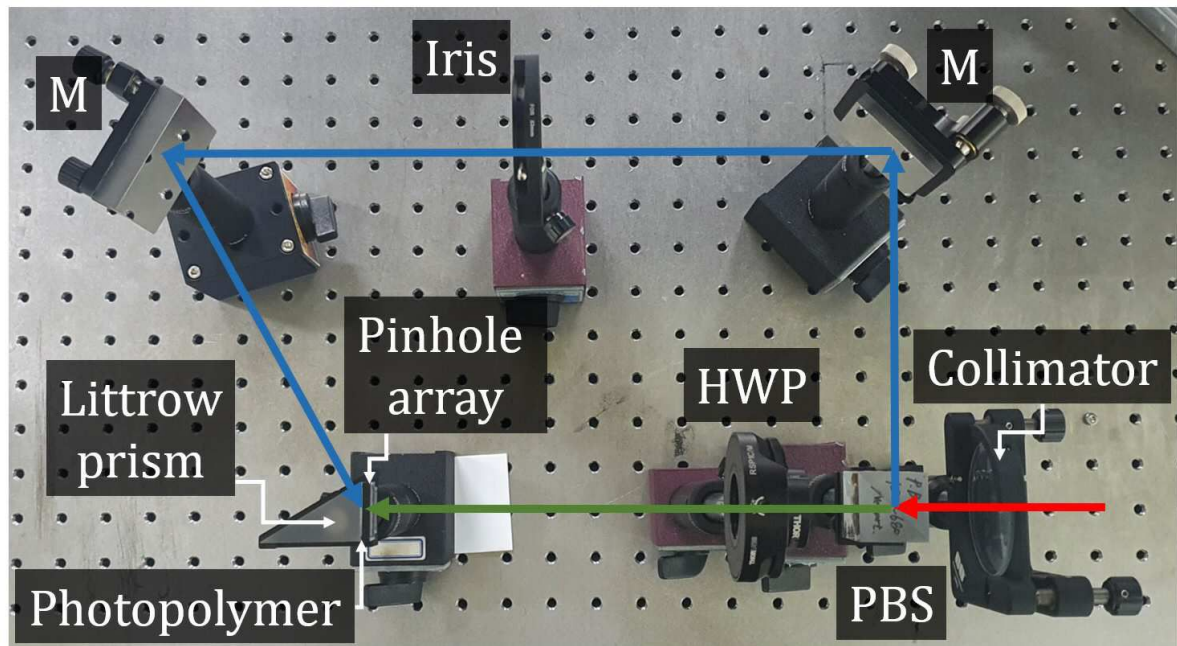
도면4



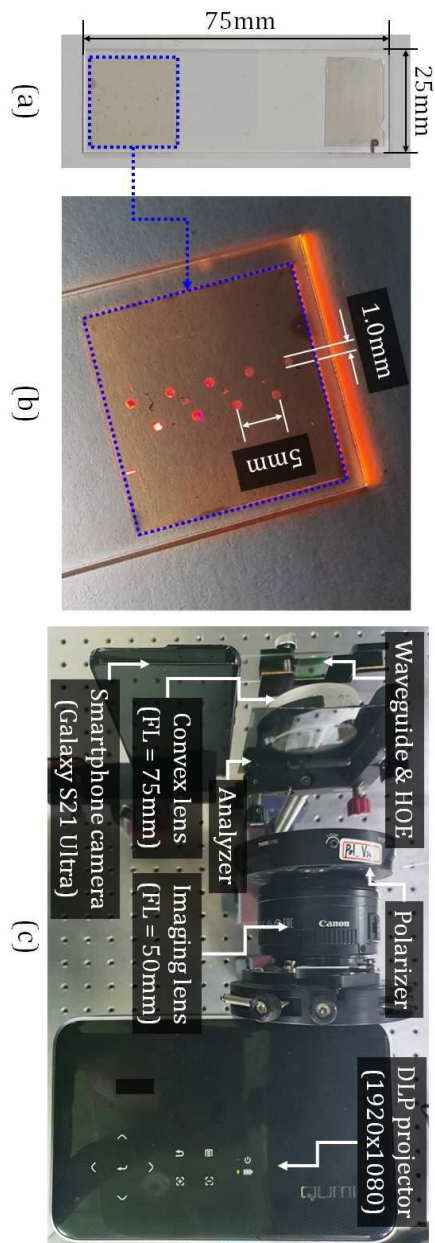
도면5a



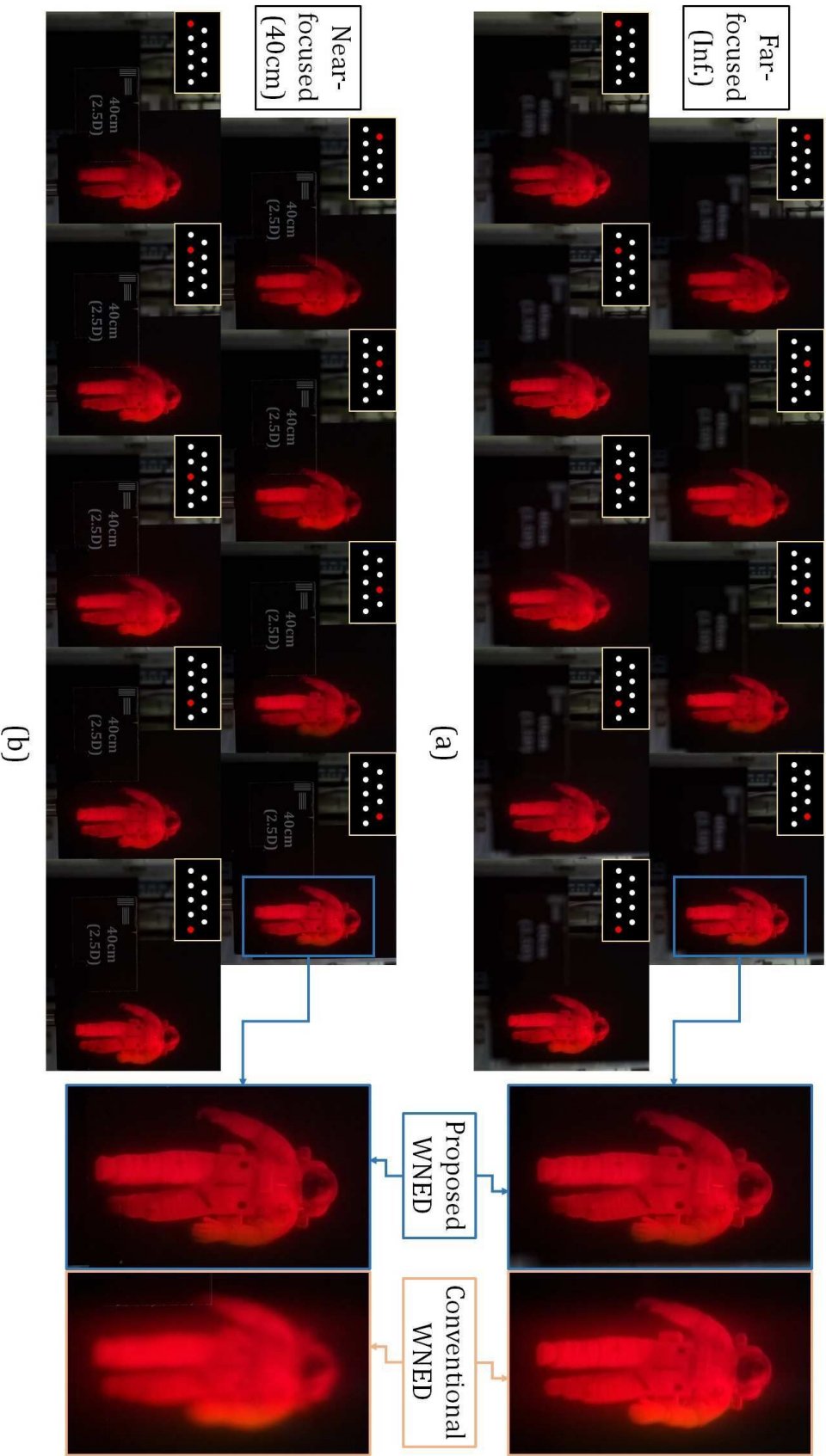
도면5b



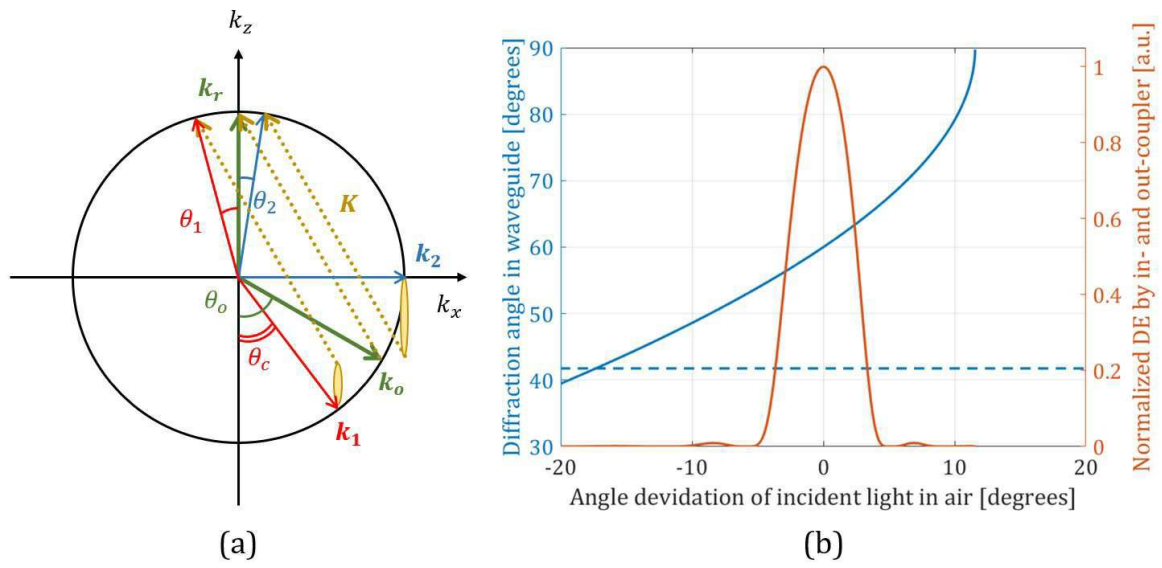
도면6



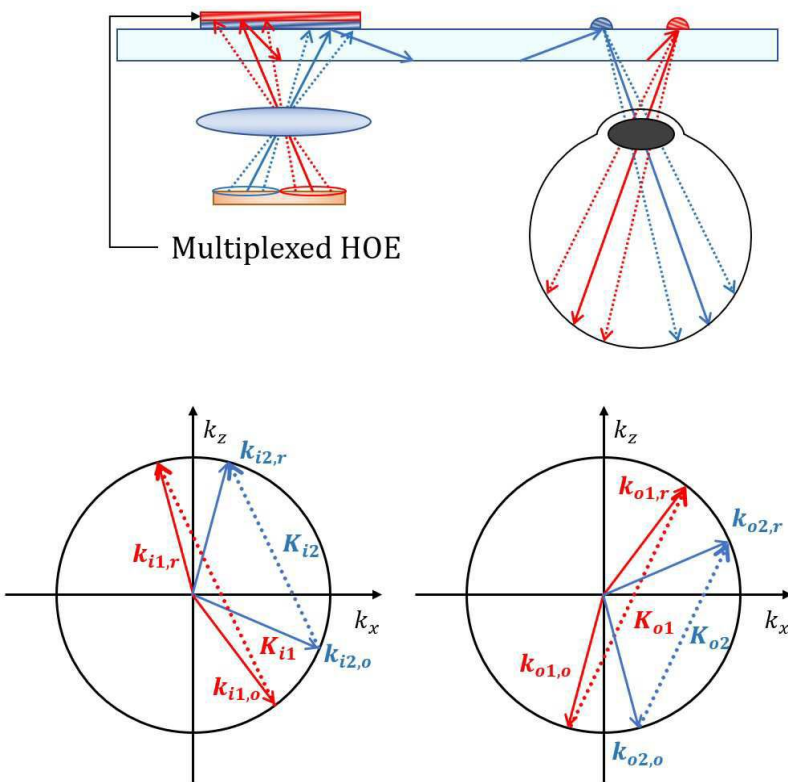
도면7



도면8



도면9



도면10

